



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013136088/28, 31.07.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
31.07.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 31.07.2013

(45) Опубликовано: 10.11.2014 Бюл. № 31

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: RU 2229145 C1, 20.05.2004. RU  
2303276 C1, 20.07.2007. RU 2346296 C1,  
10.02.2009; . US 20060043314 A1, 02.03.2006

Адрес для переписки:

620002, г.Екатеринбург, ул. Мира, 19, УрФУ,  
Центр интеллектуальной собственности, Маркс  
Т.В.

(72) Автор(ы):

Соловьев Сергей Васильевич (RU),  
Власов Максим Игоревич (RU),  
Литовченко Евгений Николаевич (RU),  
Моисейкин Евгений Витальевич (RU),  
Сарычев Максим Николаевич (RU),  
Хохлов Георгий Константинович (RU),  
Мильман Игорь Игорьевич (RU),  
Сюрдо Александр Иванович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

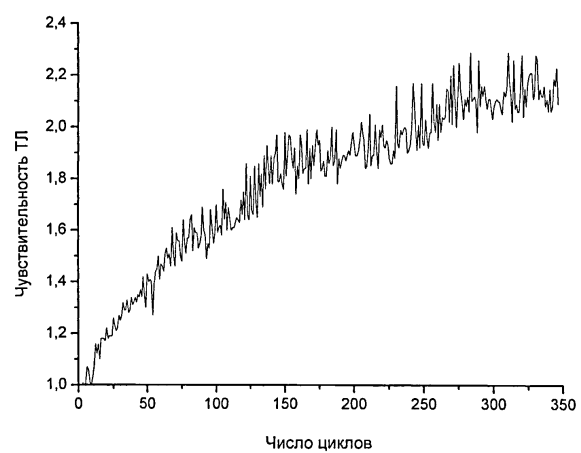
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования "Уральский  
федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина" (RU),  
Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки Институт промышленной  
экологии Уральского отделения Российской  
академии наук (ИПЭ УрО РАН) (RU)(54) СПОСОБ ТЕРМОЛУЧЕВОЙ ОБРАБОТКИ ВЕЩЕСТВА ТЛ-ОСЛ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО  
ДЕТЕКТОРА ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА ОСНОВЕ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

(57) Реферат:

Изобретение относится к способу обработки рабочих веществ твердотельных детекторов ионизирующих излучений, основанных на явлениях термостимулированной люминесценции (ТЛ) и оптически стимулированной люминесценции (ОСЛ). Способ термолучевой обработки вещества твердотельного детектора ионизирующих излучений на основе оксида алюминия включает этапы, на которых осуществляют нагрев материала и облучение его в нагретом состоянии фотонным излучением

мощностью 1-10 мВт в диапазоне длин волн 200-220 нм в течение заданного времени, при этом облучение материала в нагретом состоянии фотонным излучением с указанными параметрами проводят в два этапа, сначала при температуре 550-590°C в течение 1-3 минуты, после чего повторяют ее при температуре 370-400°C в течение 4-6 минут. Технический результат - повышение точности, надежности и достоверности регистрации дозиметрических измерений. 1 табл., 8 ил.

R U 2 5 3 2 5 0 6 C 1



Фиг.1

R U 2 5 3 2 5 0 6 C 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2013136088/28, 31.07.2013**(24) Effective date for property rights:  
**31.07.2013**

Priority:

(22) Date of filing: **31.07.2013**(45) Date of publication: **10.11.2014** Bull. № **31**

Mail address:

**620002, g.Ekaterinburg, ul. Mira, 19, UrFU, Tsentr  
intellektual'noj sobstvennosti, Marks T.V.**

(72) Inventor(s):

**Solov'ev Sergej Vasil'evich (RU),  
Vlasov Maksim Igorevich (RU),  
Litovchenko Evgenij Nikolaevich (RU),  
Moisejkin Evgenij Vital'evich (RU),  
Sarychev Maksim Nikolaevich (RU),  
Khokhlov Georgij Konstantinovich (RU),  
Mil'man Igor' Igorievich (RU),  
Sjurdo Aleksandr Ivanovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

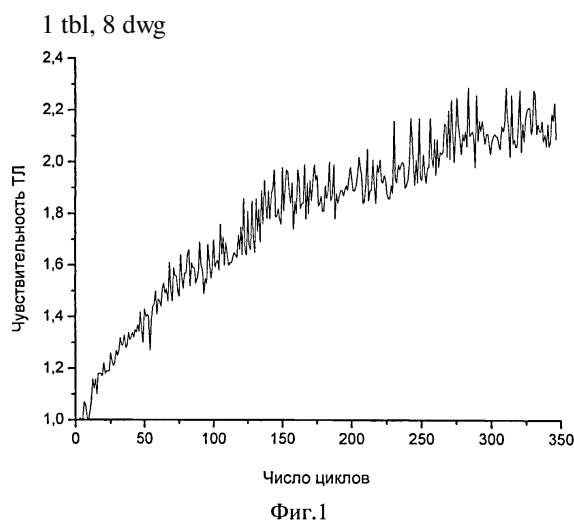
**Federal'noe gosudarstvennoe avtonomnoe  
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego  
professional'nogo obrazovanija "Ural'skij  
federal'nyj universitet imeni pervogo Prezidenta  
Rossii B.N. El'tsina" (RU),  
Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe  
uchrezhdenie nauki Institut promyshlennoj  
ehkologii Ural'skogo otdelenija Rossijskoj  
akademii nauk (IPEh UrO RAN) (RU)**(54) **METHOD FOR THERMAL-BEAM TREATMENT OF TL-OSL SUBSTANCE OF SOLID-STATE IONISING  
RADIATION DETECTOR BASED ON ALUMINIUM OXIDE**

(57) Abstract:

FIELD: physics.

SUBSTANCE: invention relates to a method of treating working substances of solid-state ionising radiation detectors based on thermally stimulated luminescence (TL) and optically stimulated luminescence (OSL) phenomena. The method for thermal-beam treatment of substance of a solid-state ionising radiation detector based on aluminium oxide includes steps of heating material and irradiation thereof in a heated state with photon radiation with power of 1-10 mW in the wavelength range of 200-220 nm for a given time, wherein irradiation of the material in a heated state with photon radiation with said parameters is carried out in two steps, first at 550-590°C for 1-3 minutes and then at 370-400°C for 4-6 minutes.

EFFECT: high accuracy and reliability of dosimetry.



Изобретение относится к способу обработки рабочих веществ твердотельных детекторов ионизирующих излучений, основанных на явлениях термостимулированной люминесценции (ТЛ) и оптически стимулированной люминесценции (ОСЛ). Оно может быть использовано в термолюминесцентной дозиметрии (ТЛД) и оптически стимулированной люминесцентной дозиметрии (ОСЛД) с использованием одного и того же детектора на основе оксида алюминия.

В настоящее время в отечественной и зарубежной практике получили широкое распространение термолюминесцентные детекторы российской разработки на основе анион-дефектных монокристаллов  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ , имеющие обозначение ТЛД-500 К (ТУ 2655-006-02069208-95), ТЛД-500 или  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$  в зарубежной литературе [А.С. №1347729.

Способ обработки вещества твердотельного детектора ионизирующих излучений на основе оксида алюминия. Заявитель: Уральский государственный технический университет. Авторы: Кортон В.С., Мильман И.И., Сюрдо А.И., Аксельрод М.С., Афонин Ю.Д. Заявка №4042240. Приоритет изобретения от 24.06.1986. Зарегистрировано в Гос. реестре изобр. 22.06.1987; А.С. №1340365. Способ получения профилированных монокристаллов оксида алюминия для термолюминесцентной дозиметрии. Заявитель: Всесоюз. НИИ электротермического оборудования, Уральский государственный технический университет, Рижский медицинский институт. Авторы: Затуловский Л.М., Кравецкий Д.Я., Аксельрод М.С., Кортон В.С., Мильман И.И., Готлиб В.И., Бичев В.Р. и Шварц К.К. Заявка №4073772. Приоритет изобретения 19.06.1986. Зарегистрировано в Гос. реестре изобр. 22.05.1987; А.С. №1072461. Вещество для твердотельного дозиметра. Заявитель: Уральский государственный технический университет. Авторы: Аксельрод М.С., Кортон В.С., Мильман И.И., Мунчаев А.И., Чиркин А.П. Заявка №3472355. Приоритет изобретения 19.07.1982. Зарегистрировано в Гос. реестре изобр. 08.10.1983; А.С. №993728. Способ термической обработки вещества твердотельного детектора ионизирующих излучений на основе оксида алюминия. Заявитель: Уральский государственный технический университет. Авторы: Аксельрод М.С., Зацепин А.Ф., Кортон В.С., Мильман И.И. Заявка №3314844. Приоритет изобретения 03.06.1982. Зарегистрировано в Гос. реестре изобр. 01.10.1982].

В настоящее время детекторы на основе анион-дефектных монокристаллов  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  получили распространение во всем мире и благодаря своим уникальным люминесцентным свойствам занимают лидирующие положения в ТЛД, ОСЛД. Существенно расширены и области практического использования этих видов дозиметрии. Помимо традиционной персональной дозиметрии имеются многочисленные примеры их применения в ядерной медицине, космических исследованиях, реконструкциях доз после радиационных аварий, контроле строительных материалов и компонент электронных устройств, решении некоторых контртеррористических задач и др. [E.G. Yukihara, S.W.S. McKeever. Optically Stimulated Luminescence. Fundamentals and Application. John Wiley & Sons Ltd., 2011. P. 370].

В процессе эксплуатации детекторов ТЛД-500 в последние 25 лет в режимах измерений ТЛ выявилось то, что чувствительность этого эффекта к излучению меньше теоретически возможного и может быть повышена различными способами.

В литературе описаны способы повышения чувствительности к излучению рабочих сред термолюминесцентных детекторов без изменения их химического состава. Физической основой способов является блокирование конкурирующего процесса захвата носителей между ловушками, ответственными за основной дозиметрический пик и энергетически более глубокими ловушками, за счет предварительного их

заполнения, состояние которых остается неизменным при температуре считывания.

Практическая реализация одной из групп способов заключается в разработке оптимальных режимов радиационно-термической обработки материалов детекторов (Термолюминесцентная дозиметрия. Зинатне. Рига. 1968; К.К. Шварц, З.А. Грант, Т.К. Межс, М.М. Грубе; S.W.S. McKeever. Thermoluminescence of Solids. Cambridge University Press. 1985; R. Chen, S.W.S. McKeever. Theory of Thermoluminescence and Related Phenomena. World Scientific. 1997), которые можно считать аналогами способа, предлагаемого изобретения:

#### Пример 1

Чувствительность термолюминофора на основе  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4:\text{Tb}$  увеличивалась в 4 раза в результате предварительного облучения гамма-излучением дозой  $10^5$  Р и последующего отжига в течение 1 часа при  $300^\circ\text{C}$ .

#### Пример 2

Чувствительность природного альфа-кварца увеличивалась в 10 раз после облучения дозой 1000 Р бета-излучением и последующего отжига при  $500^\circ\text{C}$ .

#### Пример 3

Разработанные для  $\text{LiF:Mg}$ ,  $\text{Ti}$  оптимальные режимы радиационно-термической обработки, заключающиеся в облучении материала гамма-излучением кобальта-60

дозой от  $3 \cdot 10^4$  до  $10^5$  Р с последующей термообработкой при  $280\text{--}300^\circ\text{C}$  в течение от 1 до 4 часов, позволили повысить чувствительность в 5 раз.

#### Пример 4

Другой способ радиационно-термической обработки вещества ТЛ детектора ионизирующих излучений на основе синтетического кварца (С. Charitids, G. Kitis, С.

Furetta and S. Charalambous. Superlinearity of Synthetic Quartz: Dependence on Pre-Dose. Radiation Protection Dosimetry. Vol.84, Nos.1-4, pp.95-98. 1999) включает предварительное облучение материала при комнатной температуре гамма-излучением источника кобальт-60 дозой 250 Гр. В результате применения способа интенсивность ТЛ в дозиметрическом пике при  $110^\circ\text{C}$  увеличивается примерно в  $10^2$  раз.

Из приведенных выше примеров следует, что известные способы радиационно-термической обработки чувствительных веществ ТЛ-детекторов позволяют повысить их чувствительность более чем в 5 раз. Общим для всех способов является применение больших доз жесткого ионизирующего излучения. Однако ни в одном из известных способов не описано их влияние на зависимость чувствительности ТЛ от температуры предварительного облучения, не анализировался спектральный состав ТЛ, не рассматривалось влияние способа повышения чувствительности ТЛ на ОСЛ.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому результату к предлагаемому следует считать способ обработки вещества твердотельного детектора ионизирующих излучений на основе монокристаллов анион-дефектного корунда [Способ обработки вещества твердотельного детектора ионизирующих излучений на основе оксида алюминия. Патент РФ №2229145. Авторы: В.С. Кортон, И.И. Мильман, С.В. Никифоров. Опубликовано 20.05.2004], который выбран в качестве прототипа.

В способе, принятом за прототип, вещество твердотельного детектора ионизирующего излучения на основе оксида алюминия нагревают до температуры  $300\text{--}350^\circ\text{C}$ , выдерживают при этой температуре весь цикл облучения ультрафиолетовым (УФ) излучением в полосе оптического поглощения F-центров  $200\text{--}220$  нм до насыщения ТЛ выхода в пике ТЛ около  $430^\circ\text{C}$ . В результате термолучевой обработки из-за заполнения глубокой ловушки носителями заряда при  $430^\circ\text{C}$  подавляется процесс

конкурирующего захвата электронов на нее при облучении детектора в рабочем режиме ионизирующим излучением. Соответственно, больше носителей захватывается на ловушки, обеспечивающие при нагреве основной дозиметрический, ТЛ пик при 180°C (здесь и везде данные приводятся для скорости нагрева детекторов при считывании (β), равной 2°C/с). В результате возрастает выход ТЛ на единицу поглощенной дозы, то есть чувствительность детектора.

Физической основой предлагаемого изобретения, в сравнении со способом, принятым за прототип, являются следующие процессы. При облучении образцов анион-дефектного корунда оптическим излучением в спектральной области полосы поглощения F-центров последние ионизируются, поставляя носители заряда (электроны) в зону проводимости кристалла. При комнатной температуре носители заряда из зоны проводимости захватываются, главным образом, ловушками, ответственными за основной дозиметрический ТЛ пик при 180°C, при этом более высокотемпературные ловушки, имеющиеся в этих кристаллах и способные проявляться при 430 и 630°C, остаются незаполненными.

При нагреве кристалла в обычном режиме считывания дозиметрической информации носители, освобожденные с основной ловушки при 180°C, рекомбинируют на центрах свечения, вызывая люминесценцию кристалла. При этом часть освободившихся при нагреве носителей захватывается глубокой ловушкой и, следовательно, не участвует в создании сигнала ТЛ. От цикла к циклу облучение-нагрев, по мере эксплуатации детектора, число носителей в глубокой ловушке накапливается, и все большее их число, освободившееся при 180°C, участвует в ТЛ процессе вместо того, чтобы быть захваченными на глубокую ловушку. Таким образом, конкурирующее влияние захвата носителей на глубокую ловушку ( $T_M \sim 430^\circ\text{C}$ ), по сравнению с захватом на основную дозиметрическую ловушку ( $T_M \sim 180^\circ\text{C}$ ), падает. Это приводит к росту выхода ТЛ на единицу поглощенной дозы, то есть повышению чувствительности детектора, как это показано на фиг.1 и 2. На фиг.1 приведена динамика изменения чувствительности образцов анион-дефектного кристалла  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  (ТЛД-500 К) в основном пике ТЛ при 180°C в зависимости от числа повторяющихся циклов облучение-нагрев. Перед началом циклов все ловушки опустошались термообработкой при 900°C в течение 10 минут. Видно, что с ростом числа циклов, чувствительность в основном пике растет за счет заполнения глубоких ловушек электронами, образующимися при облучении и считывании. Как следствие, падает вероятность захвата электронов на глубокие ловушки в последующих циклах нагрев-облучение. Общий итог: от цикла к циклу все большее количество электронов участвует в процессе образования люминесценции, ее выход растет.

На фиг.2 приведена кривая термовысвечивания образцов анион-дефектного  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  после 350 циклов облучение-нагрев. 1 - эксперимент, 2 - ТЛ глубоких ловушек, выявленная разложением. В исходном состоянии глубокие ловушки были пустые. Данные этого чертежа иллюстрируют присутствие глубоких ловушек и возможность их заполнения электронами в результате большого числа циклов нагрев-облучение. В дальнейших исследованиях обнаружилось (V.S. Kortov, I.I. Milman and S.V. Nikiforov The Effect of Deep Traps on the Main Features of Thermoluminescence in Dosimetric  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  Crystals. Radiation Protection Dosimetry. Vol.84, Nos.1-4, pp.35-38. 1999), что термически более глубокая (относительно основной, дозиметрической, обеспечивающей ТЛ пик при 180°C) ловушка, ответственная за ТЛ пик при 430°C, конкурирующая в захвате носителей заряда с основной при облучении детектора ионизирующим излучением, не является

единственной. Термически еще более глубокая ловушка в кристаллах анион-дефектного корунда, заполненная способом, являющимся основой предлагаемого изобретения, приводит к появлению ТЛ пика при 630°C.

Таким образом, по крайней мере, три типа ловушек (уровней захвата носителей заряда, электронов), имеющих разную термическую глубину, обнаруживаются в детекторах ТЛД-500, основанных на базе анион-дефектных кристаллов  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Пики ТЛ, обусловленные этим ловушками, имеют температуры максимумов:  $T_{m1} \sim 180$ ,  $T_{m2} \sim 430$ ,  $T_{m3} \sim 630^\circ\text{C}$ ,  $\beta = 2^\circ\text{C}/\text{с}$ . Общим для перечисленных ловушек является то, что все они имеют электронную природу, то есть обладают способностью захватывать электроны из зоны проводимости, освобожденные в нее из валентной зоны и/или центров окраски F- и  $\text{F}^+$ -типа (кислородная вакансия в решетке  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ , захватившая два или один электрон, соответственно) ионизирующим излучением или путем ионизации только F- и  $\text{F}^+$ -центров под действием УФ-излучения. Сечения захвата электронов из зоны проводимости ловушками различной глубины отличаются друг от друга. Вблизи комнатных температур, в условиях штатной эксплуатации термолюминесцентных детекторов ТЛД-500, под действием ионизирующих излучений наиболее эффективно заполняется ловушка, обеспечивающая дозиметрический ТЛ пик 180°C. При этом происходит конкурирующий захват части носителей и на более глубокие ловушки, снижая тем самым число носителей на дозиметрической ловушке. В процессе эксплуатации детекторов концентрация электронов, накопленных в глубоких ловушках, постоянно растет, приближаясь к насыщению, из-за этого увеличивается число носителей, попадающих на основную ловушку, что эквивалентно увеличению чувствительности в основном ТЛ пике. Эти принципы были положены в основу способа обработки вещества твердотельного детектора на основе оксида алюминия, принятого за прототип в предлагаемом изобретении. В способе, принятом за прототип, источником электронов, поставляемых в зону проводимости, является F-центры, для их ионизации используется УФ-облучение в полосе поглощения этих центров. Для предотвращения захвата электронов из зоны проводимости на дозиметрическую ловушку, облучение УФ-излучением проводят при температуре вещества детектора 300-350°C. При этом создаются оптимальные условия для заполнения электронами глубокой ловушки вплоть до ее насыщения, ближайшей по термической глубине к дозиметрической ловушке, обнаруживаемой по ТЛ пику при 430°C. В этом случае электроны, образующиеся при облучении материала ионизирующим излучением, захватываются только на ловушки, ответственные за основной ТЛ, количество таких электронов возрастает, по сравнению с ситуацией, при которой первая глубокая ловушка не заполнена, выход ТЛ возрастает. При такой термолучевой обработке темп заселения термически более глубоких ловушек много ниже, чем темп заселения первой глубокой ловушки. Тем не менее, по мере увеличения числа циклов облучение-нагрев-считывание ТЛ, постепенно растет концентрация электронов в остальных глубоких ловушках, эффективность конкурирующего с основной ловушкой захвата ими электронов снижается, выход ТЛ в дозиметрическом пике возрастает (Фиг.1). Этот процесс приводит к постепенному изменению однородности партии детекторов по чувствительности, предварительно отобранной с разбросом, не превышающим 5%. Возврат в исходное состояние детекторов (глубокие ловушки пустые) по чувствительности, в соответствии с техническим условиями на детектор, предусматривает их периодическую термообработку при 900°C в течение 10-15 минут, то есть опустошение глубоких ловушек.

В способе обработки вещества твердотельного детектора на основе оксида алюминия, принятого за прототип, не использовалась потенциальная возможность дальнейшего повышения ТЛ чувствительности. Кроме того, в нем не рассматривалась возможность одновременно с ТЛ повысить чувствительность к ионизирующему излучению этого же детектора по выходу ОСЛ, ограничивая тем самым функциональные возможности применения ТЛ и/или ОСЛ эффектов, снижая, в конечном счете, надежность, точность и достоверность дозиметрических измерений.

Целью предлагаемого изобретения является разработка способа одновременного повышения выхода люминесценции при термической или оптической стимуляции, что расширяет функциональные возможности детекторов, увеличивает за счет этого надежность, достоверность и точности производимых измерений.

Решение поставленной технической задачи достигается тем, что в предлагаемом способе термолучевой обработки заполняются электронами обе глубокие ловушки, ответственные за ТЛ пики при 430 и 630°C. Для этого вещество твердотельного детектора ионизирующего излучения на основе оксида алюминия нагревают до 550-590°C, выдерживают при этой температуре при облучении ультрафиолетовым излучением в полосе оптического поглощения F-центров, 200-220 нм, обеспечивая заполнение ловушки при 630°. После чего материал детектора охлаждают до 370-400°C, выдерживают при этой температуре при облучения ультрафиолетовым излучением в полосе оптического поглощения F-центров, обеспечивая заполнение ловушки при 430°C.

Положительным эффектом применения предлагаемого способа ТЛО обработки материала детектора на основе анион-дефектного корунда является одновременное с ТЛ и повышение чувствительности по каналу ОСЛ, не рассматриваемое в способе, принятом за прототип. Одновременное повышение чувствительности по выходу ТЛ и ОСЛ, наблюдаемое в результате обработки вещества детектора по способу, описанному в предлагаемом изобретении, обусловлено тем, что оба явления основаны на стимулированном температурой или оптическим излучением опустошении основной дозиметрической ловушки. Поэтому при создании условий, обеспечивающих максимально возможное заселение электронами основной дозиметрической ловушки в штатном режиме работы детектора за счет предварительного заселения первой и второй глубоких ловушек, должен наблюдаться одновременный рост чувствительности по каналу ТЛ и ОСЛ.

Нижняя граница температурного интервала 550-590°C выдержки при облучении детектора УФ-излучением определяется необходимостью предотвратить утечку электронов, образовавшихся в результате ионизации F-центров, на термически менее глубокие ловушки, по сравнению с заполняемой, ответственной за ТЛ пик около 630°C.

Верхняя граница температурного интервала 550-590°C выдержки при облучении детектора УФ-излучением определяется эффективностью заполнения электронами ловушки, обеспечивающей ТЛ с  $T_{m3} \sim 630^\circ\text{C}$ . Она увеличивается с ростом температуры облучения, но, одновременно, не должна приводить к термостимулированной потере запасенных на ловушке электронов.

Нижняя граница температурного интервала 370-400°C выдержки при облучении детектора УФ-излучением определяется необходимостью предотвращения ухода электронов, освобожденных из F-центров, не на ловушку, обеспечивающую ТЛ с  $T_{m2} \sim 430^\circ\text{C}$ , а на термически менее глубокие, например ловушку, ответственную за основной ТЛ пик с  $T_{m1} \sim 180^\circ\text{C}$ .

Верхняя граница температурного интервала 370-400°C выдержки при облучении



детектора УФ-излучением определяется необходимостью заполнения электронами ловушки, обеспечивающей ТЛ с  $T_{m2} \sim 430^\circ\text{C}$ . Вероятность захвата электронов увеличивается с ростом температуры облучения, но при этом не должно происходить термостимулированного опустошения запасенных на ловушке электронов.

Выбор диапазона спектра УФ-излучения обусловлен тем, что именно в нем содержатся оптимальные для ионизации F-центров длины волн, максимальная эффективность которой достигается при длине волны 205 нм.

Результаты экспериментальной проверки реализации предлагаемого способа обобщены и иллюстрируются представленными ниже чертежами.

Экспериментальная проверка применения предлагаемого способа термооптической обработки материала детектора для увеличения выхода ТЛ в дозиметрическом пике проводилась по следующему алгоритму.

1. Первая и вторая глубокие ловушки предварительно не заполнялись, детектор облучался тестовой дозой рентгеновского излучения. Относительный выход ТЛ, как результат облучения тестовой дозой, оценивался по величине дозиметрического пика при  $180^\circ\text{C}$  или по площади под кривой термовысвечивания.

2. Заполнялась вторая глубокая ловушка. Первая глубокая ловушка оставалась пустой. Время экспозиции УФ-излучением варьировалось. Данные измерений тестовой ТЛ показывали влияние заполнения только одной второй глубокой ловушки на выход ТЛ и необходимое время термолучевой обработки для достижения максимального эффекта.

3. Первая глубокая ловушка заполнялась в течение разного времени экспозиции УФ-излучением. Вторая глубокая ловушка оставалась пустой. Данные измерений ТЛ, после облучения детектора тестовой дозой, позволяли выявить оптимальное время УФ-экспозиции для получения максимального увеличения выхода ТЛ.

4. Обе глубокие ловушки заполнены. Данные тестовых измерений ТЛ, в сравнении с полученными в пп.1, 2 и 3, позволяли сделать заключение о работоспособности предлагаемого изобретения.

Экспериментальная проверка применения предлагаемого способа термооптической обработки материала детектора для увеличения выхода ОСЛ параллельно с ТЛ проводилась по алгоритму, описанному выше, в пп.1-4. Относительный выход ОСЛ оценивался по максимальному значению интенсивности кривой затухания ОСЛ или по площади под кривой затухания за выбранный промежуток времени.

В качестве источника УФ-излучения, используемого для заполнения глубоких ловушек, применялась ртутно-кварцевая лампа марки ДРТ-240. Мощность ее излучения в месте расположения детектора контролировалась измерителем средней мощности и энергии лазерного излучения типа ИМО-2Н и варьировалась от 1 до 10 мВт.

Температура детектора, при которой производилось облучение УФ-излучением, стабилизировалась автоматическим устройством. Тестовая доза обеспечивалась фиксированным по времени рентгеновским ( $I=30$  мкА,  $U=30$  кВ, Re-анод). ТЛ измерялась с помощью автоматизированной лабораторной установки. Методика регистрации ОСЛ и аппаратура подробно описаны в патентах РФ авторов предлагаемого изобретения: №2310889 «Устройство для измерения дозиметрического сигнала оптически стимулированной люминесценции», опубликован 20.11.2007; №2399928 «Способ возбуждения дозиметрического сигнала оптически стимулированной люминесценции детекторов ионизирующих излучений на основе оксида алюминия», опубликован 20.09.2010.

Результат заполнения ловушки, ответственной за ТЛ при  $630^\circ\text{C}$ , - первая глубокая

ловушка пустая.

На фиг.3 приведена экспериментально измеренная зависимость интенсивности ТЛ в дозиметрическом пике при 180°C ТЛ детекторов на основе анион-дефектного корунда, возбужденной облучением тестовой дозой рентгеновского излучения при комнатной температуре, от времени предварительной ТЛО при 570°C. Видно, из этого чертежа, что термолучевая обработка в течение 1-3 минут приводит к росту интенсивности ТЛ в пике при 180°C в 2-2,5 раза. При ТЛО вне этого временного интервала рост интенсивности ТЛ приходит либо в насыщение, либо возрастает менее чем в два раза. Относительный рост интенсивности ТЛ в пике при 180°C, достигнутый в результате ТЛО при 570°C в течение 2, 4 и 6 минут иллюстрируется кривыми термовысвечивания, приведенными на фиг.4. Видно, что наибольшая скорость роста интенсивности ТЛ в дозиметрическом пике достигается при времени обработки 1-3 минуты. Это время признано оптимальным при ТЛО обработке при 570°C.

Результат заполнения ловушки, ответственной за ТЛ при 430°C, - вторая глубокая ловушка пустая.

На фиг.5 приведена зависимость интенсивности ТЛ в дозиметрическом пике при 180°C ТЛ, возбужденная тестовой дозой рентгеновского излучения при комнатной температуре, от времени предварительной ТЛО при 370°C. Из данных этого чертежа следует, что ТЛО в течение 4-6 минут, приводит к росту интенсивности ТЛ в дозиметрическом пике в 17-20 раз. Относительный рост интенсивности ТЛ в пике при 180°C, достигнутый в результате ТЛО при 370°C в течение 4 и 6 минут иллюстрируется кривыми термовысвечивания, приведенными на фиг.6.

Результат заполнения глубоких ловушек, ответственных за ТЛ при 430 и 630°C

Экспериментальная проверка результатов заполнения электронами глубоких ловушек при оптимальных условиях термолучевой обработки (570°C, 1-3 мин; 370°C, 4-6 мин), ответственных за ТЛ при 430 и 630°C, показала относительный рост интенсивности ТЛ в дозиметрическом пике при 180°C в 30-35 раз. Этот результат приведен на фиг.7, время обработки при 570°C выбиралось равным 2 минутам, а при 370°C - 6 минутам. Из-за высокой интенсивности снижено напряжение на ФЭУ. Для сравнения с интенсивностью ТЛ необработанного материала (фиг.6, кривая 1), данные фиг.7 необходимо умножить на коэффициент 12, 15. Аналогичный параметр, достигнутый в аналогах и способе, принятом за прототип, не превышал значений 5-10.

При экспериментальной проверке предлагаемого способа мощность оптического излучения в месте расположения детектора изменялась от 5 до 1 мВт, в этом интервале достигался максимальный относительный рост интенсивности ТЛ в дозиметрическом пике.

Дополнительным эффектом применения предлагаемого способа термолучевой обработки материала детектора на основе анион-дефектного корунда является повышение интенсивности ОСЛ относительно необработанного материала. Экспериментальная проверка применения предлагаемого способа для увеличения выхода ОСЛ проводилась при описанных выше режимах ТЛО материала детектора, обеспечивающих максимальный рост ТЛ. Результаты экспериментальной проверки применения предлагаемого изобретения для повышения выхода ОСЛ суммированы в Таблице и на фиг.8. В Таблице приведено время ТЛО при 570 и 370°C, рост амплитудного значения сигнала ОСЛ относительно необработанного материала ( $I/I_0$ ) и суммы импульсов под кривой затухания ( $S/S_0$ ). На фиг.8 приведена зависимость выхода ОСЛ от режимов термолучевой обработки детекторов на основе анион-дефектного корунда, облученных тестовой дозой рентгеновского излучения при комнатной температуре: 1

- 570°C, 4 мин; 2 - 370°C, 3 мин; 4 - 570°C, 6 мин.

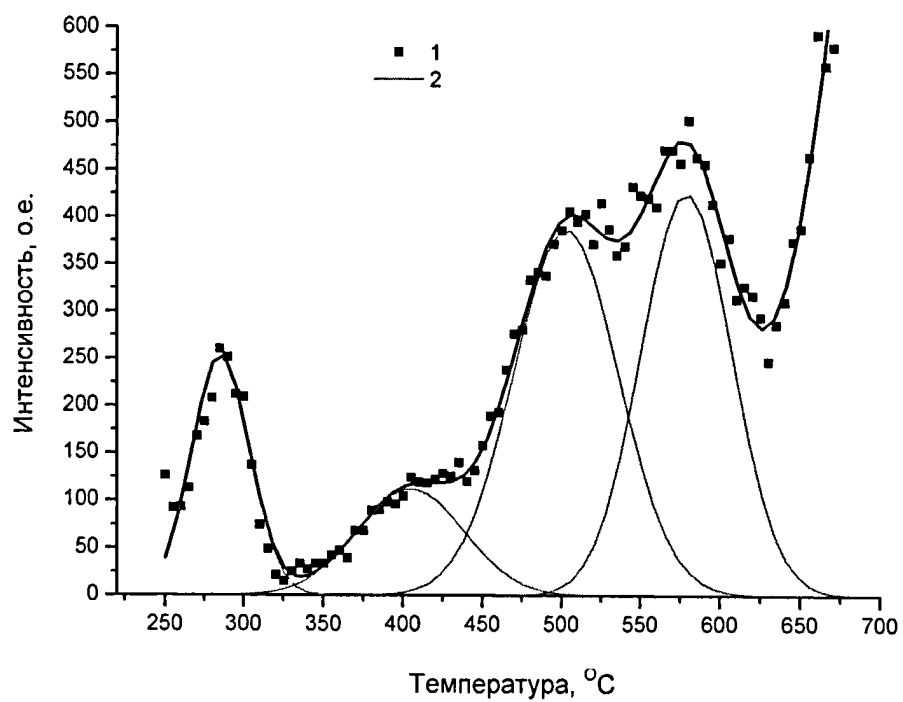
Данные, представленные в Таблице и на фиг.8, показывают, что заполнение глубоких ловушек по отдельности приводит к росту отношений  $I/I_0$  и  $S/S_0$ . При заполнении обеих ловушек амплитудное значение ОСЛ увеличивалось примерно в сто раз, а интегральный выход в 600 раз относительно необработанного материала.

Таким образом, предлагаемая ТЛО позволяет существенно повысить чувствительность детекторов на основе анион-дефектных кристаллов  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  одновременно по выходу ТЛ и ОСЛ, что расширяет функциональные возможности детекторов, увеличивает за счет этого надежность, достоверность и точности производимых дозиметрических измерений.

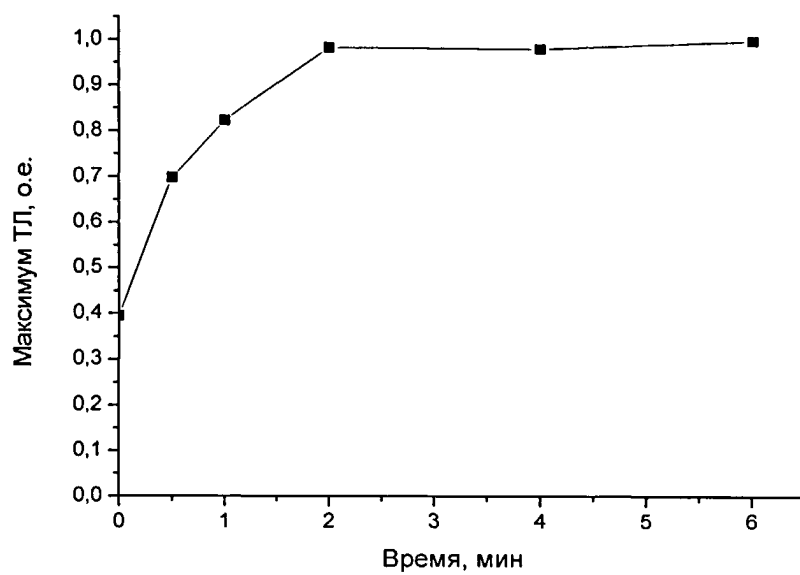
Таблица				
Зависимость выхода ОСЛ от режимов термолучевой обработки детекторов на основе анион-дефектного корунда, облученных тестовой дозой рентгеновского излучения при комнатной температуре				
Время ТЛО, мин	ТЛО при 370°C		ТЛО при 570°C	
	$I/I_0$	$S/S_0$	$I/I_0$	$S/S_0$
0	267(1)	2247(1)	267(1)	2247(1)
4	7118(26)	159771(71)	1485(5)	9868((4,4)
5	12905(48)	356985(159)	1889(7)	17076(7,6)
6	18953(71)	727072(324)	1937(7,25)	16226(7,2)
ТЛО при 570°C (3 мин) и затем при 370°C (5 мин)				
		26457(99)		1352293(602)

### Формула изобретения

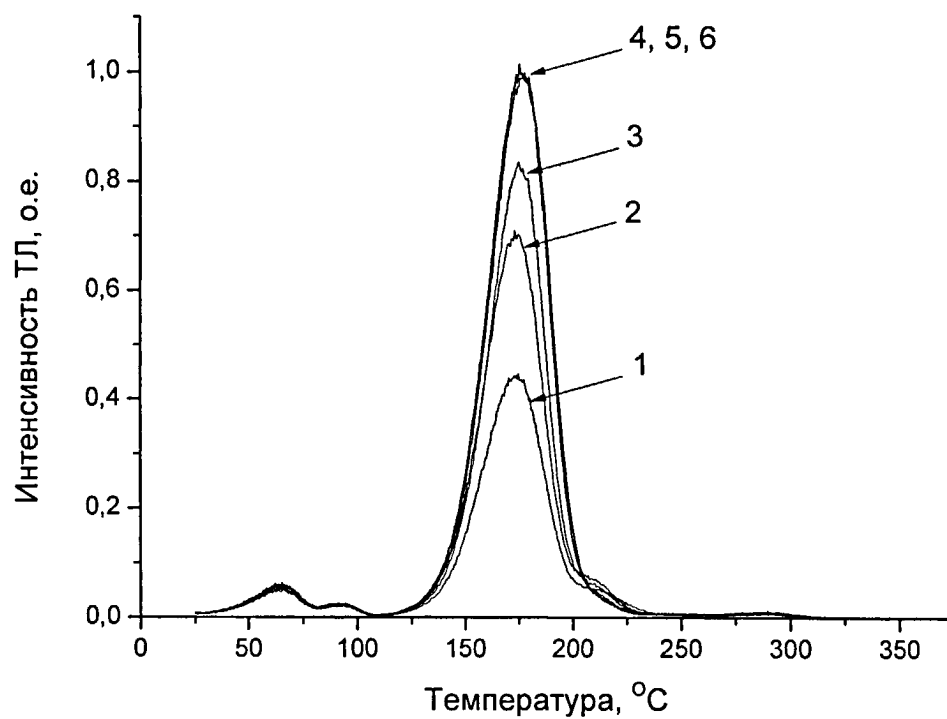
Способ термолучевой обработки вещества твердотельного детектора ионизирующих излучений на основе оксида алюминия, включающий нагрев материала и облучение его в нагретом состоянии фотонным излучением мощностью 1-10 мВт в диапазоне длин волн 200-220 нм в течение заданного времени, отличающийся тем, что облучение материала в нагретом состоянии фотонным излучением с указанными параметрами проводят в два этапа, сначала при температуре 550-590°C в течение 1-3 минуты, после чего повторяют его при температуре 370-400°C в течение 4-6 минут.



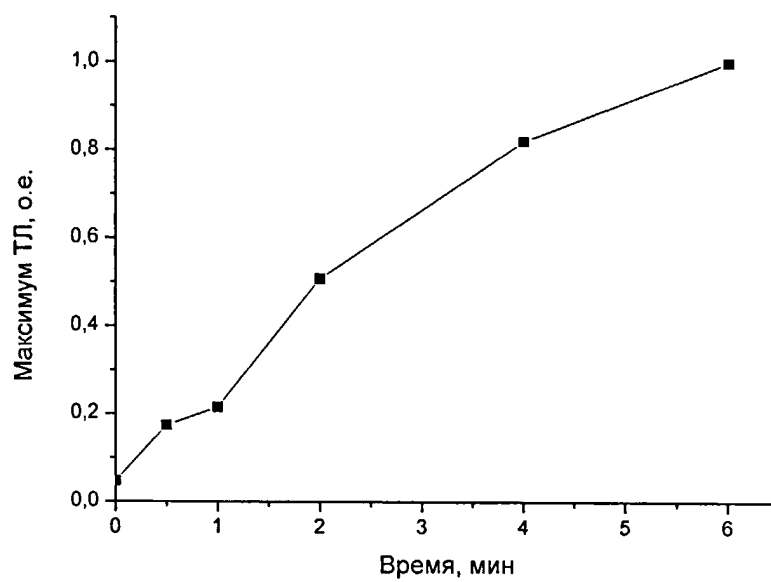
Фиг. 2



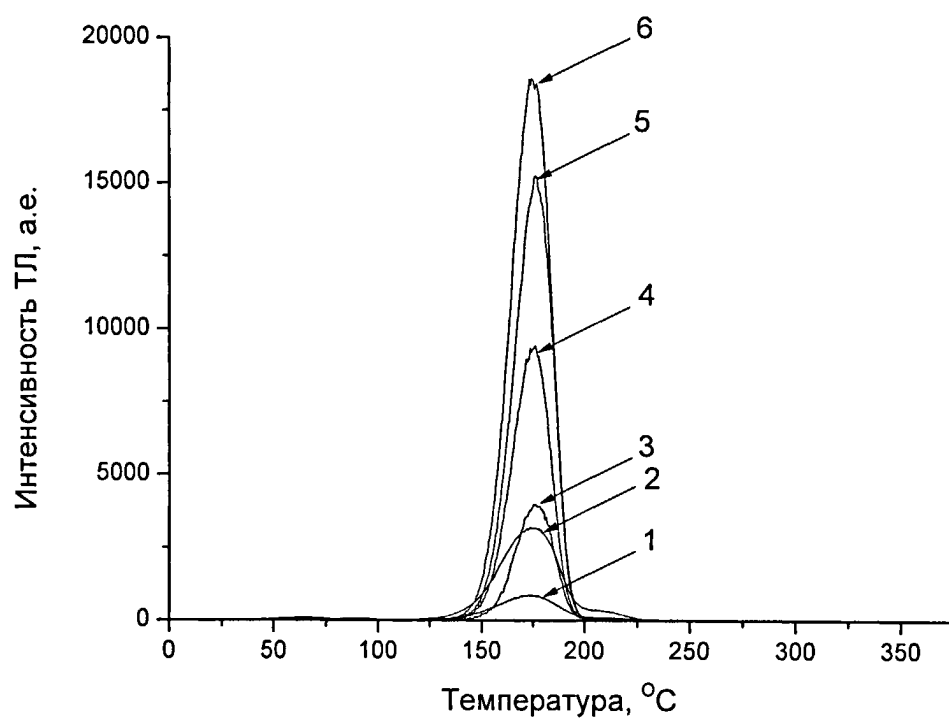
Фиг. 3



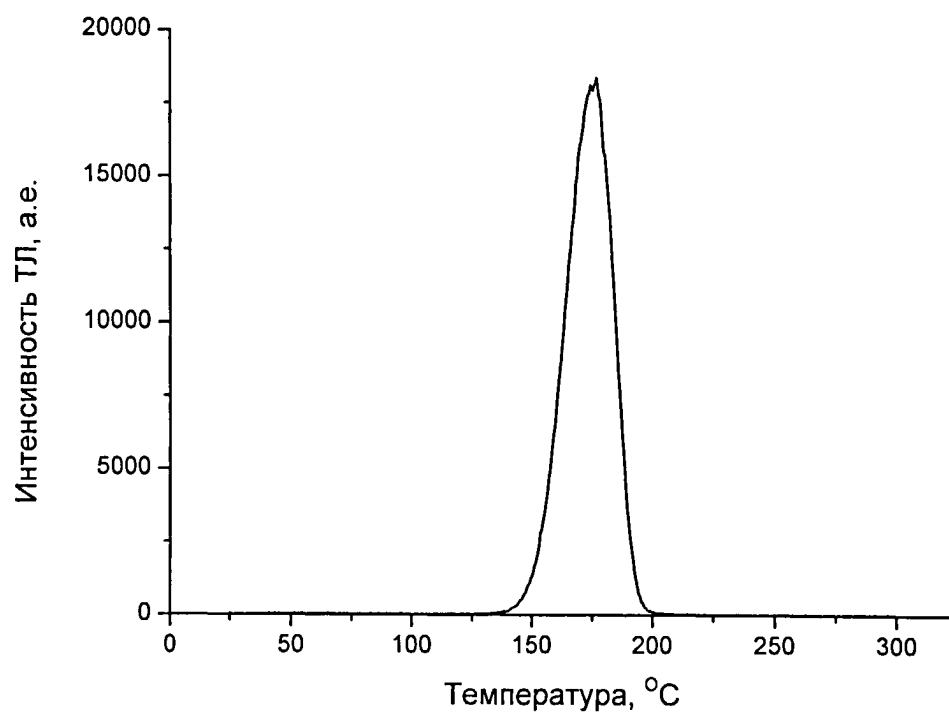
Фиг. 4



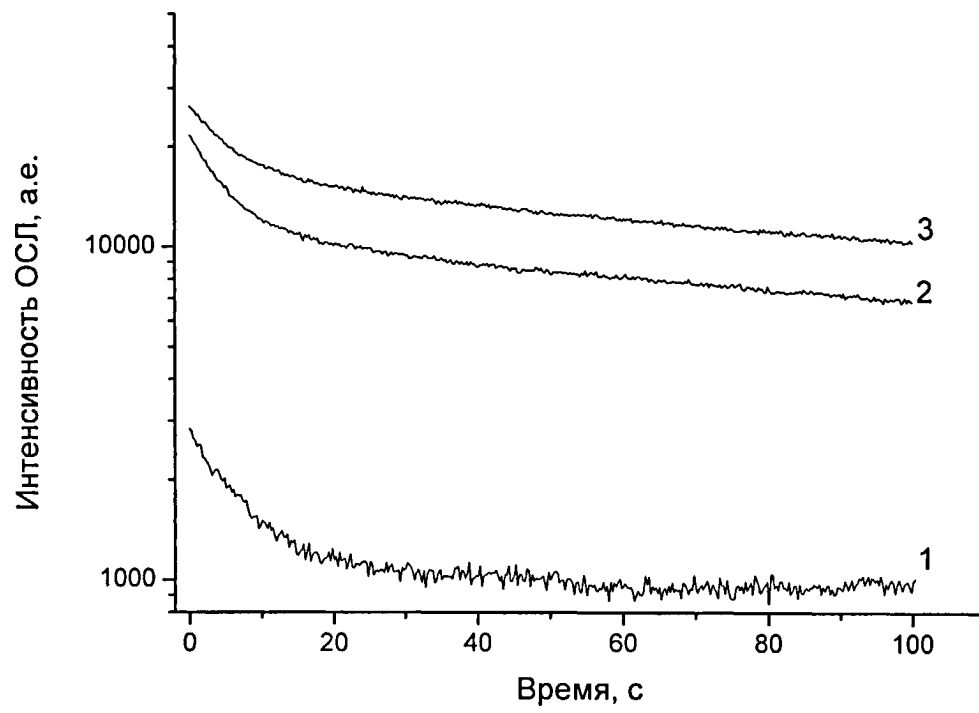
Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8